

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-162459

(43)Date of publication of application : 16.06.2000

(51)Int.CI. G02B 6/13  
H01S 5/10

(21)Application number : 10-336945

(71)Applicant : ATR ADAPTIVE  
COMMUNICATIONS RES LAB

(22)Date of filing : 27.11.1998

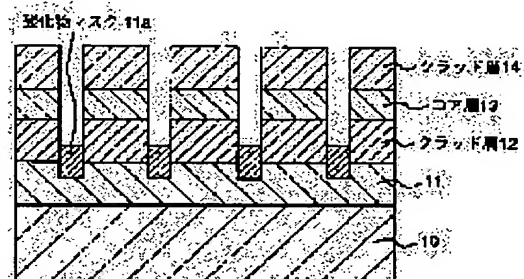
(72)Inventor : PABLO BACCALO  
DOMOTO CHIAKI  
WADA KAZUMI  
SAKATA SEIJI  
EGAMI NORIFUMI

## (54) PHOTONIC CRYSTAL AND MANUFACTURE THEREOF

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a photonic crystal easily manufactured and used, for example, for a reflection mirror and an optical waveguide of a semiconductor laser, and to provide a manufacturing method therefor.

SOLUTION: After a GaAs buffer layer 11 of a semiconductor layer is formed on a GaAs semiconductor substrate 10 of a single crystal substrate using an MOCVD method, the layer 11 is oxidized periodically with a prescribed distance one another using an atomic force microscope(AFM) fine working method to form fine oxide masks 11a. Thin film material layers 12, 13, 14 are not formed on portions with the oxide masks 11a formed by forming thin film material layers, each of which includes a clad layer 12, a core layer 13 and a clad layer 14, for forming optical wave guides on the buffer layer 11 with the oxide masks 11a formed using the MOCVD method, and, on the other hand, the thin film material layers 12, 13, 14 are formed in portions with no oxide mask 11a formed.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 27.11.1998

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 27.06.2000

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-162459

(P2000-162459A)

(43)公開日 平成12年6月16日(2000.6.16)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード <sup>*</sup> (参考)
G 0 2 B 6/13		G 0 2 B 6/12	M 2 H 0 4 7
H 0 1 S 5/10		H 0 1 S 3/18	6 4 0 5 F 0 7 3

審査請求 有 請求項の数6 O L (全 6 頁)

(21)出願番号 特願平10-336945

(22)出願日 平成10年11月27日(1998. 11. 27)

(71)出願人 396011680

株式会社エイ・ティ・アール環境適応通信  
研究所京都府相楽郡精華町大字乾谷小字三平谷5  
番地

(72)発明者 バプロ・パッカロ

京都府相楽郡精華町大字乾谷小字三平谷5  
番地 株式会社エイ・ティ・アール環境適  
応通信研究所内

(74)代理人 100062144

弁理士 青山 葆 (外2名)

最終頁に続く

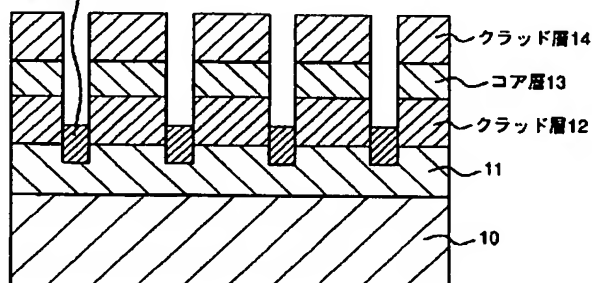
(54)【発明の名称】 フォトニック結晶とその製造方法

(57)【要約】

【課題】 製造方法が簡単であって、例えば半導体レーザの反射ミラーや光導波路に用いるためのフォトニック結晶とその製造方法を提供する。

【解決手段】 単結晶基板であるGaAs半導体基板10上にMOCVD法により半導体層であるGaAsバッファ層11を形成した後、原子間力顕微鏡(AFM)微細加工法を用いてバッファ層11を互いに所定の間隔をあけて周期的に酸化することにより微細な酸化物マスク11aを形成し、酸化物マスク11aが形成されたバッファ層11上に、MOCVD法を用いて光導波路を形成するためのクラッド層12、コア層13、クラッド層14を含む薄膜材料層を形成することにより酸化物マスク11aが形成された部位には薄膜材料層12、13、14を形成しない一方、酸化物マスク11aが形成されていない部位には薄膜材料層12、13、14を形成してなる。

酸化物マスク 11a



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 単結晶基板上に半導体層を形成した後、所定の微細加工法を用いて上記半導体層を互いに所定の間隔をあけて周期的に酸化することにより微細な酸化物マスクを形成し、周期的な酸化物マスクが形成された半導体層上に、所定の結晶成長法を用いて所定の薄膜材料層を形成することにより、酸化物マスクが形成された部位には当該薄膜材料層を形成しない一方、酸化物マスクが形成されていない部位には当該薄膜材料層を形成してなることを特徴とするフォトニック結晶。

【請求項 2】 請求項 1 記載のフォトニック結晶において、上記単結晶基板は、GaAs 半導体基板、InP 半導体基板、SiC 基板又は Si 基板であることを特徴とするフォトニック結晶。

【請求項 3】 請求項 1 又は 2 記載のフォトニック結晶において、上記微細加工法は、原子間力顕微鏡 (AFM) 微細加工法又は走査型トンネル顕微鏡 (STM) 微細加工法であることを特徴とするフォトニック結晶。

【請求項 4】 単結晶基板上に半導体層を形成することと、所定の微細加工法を用いて上記半導体層を互いに所定の間隔をあけて周期的に酸化することにより微細な酸化物マスクを形成することと、周期的な酸化物マスクが形成された半導体層上に、所定の結晶成長法を用いて所定の薄膜材料層を形成することにより、酸化物マスクが形成された部位には当該薄膜材料層を形成しない一方、酸化物マスクが形成されていない部位には当該薄膜材料層を形成することを含むことを特徴とするフォトニック結晶の製造方法。

【請求項 5】 請求項 4 記載のフォトニック結晶の製造方法において、上記単結晶基板は、GaAs 半導体基板、InP 半導体基板、SiC 基板又は Si 基板であることを特徴とするフォトニック結晶の製造方法。

【請求項 6】 請求項 4 又は 5 記載のフォトニック結晶の製造方法において、上記微細加工法は、原子間力顕微鏡 (AFM) 微細加工法又は走査型トンネル顕微鏡 (STM) 微細加工法であることを特徴とするフォトニック結晶の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、例えば、半導体レーザの反射ミラーや光導波路に用いるためのフォトニック結晶とその製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 フォトニック結晶とは、光の  $1/2$  波長周期で、2 種類以上の誘電体又は空気及び半導体又は金属が交互に繰り返すように形成された 2 次元的又は 3 次

元的な周期構造を有する結晶である。このような構造の中では、光の振る舞いが、フォトニックバンドと呼ばれる分散特性によって決定される。さらにフォトニックギャップと呼ばれる光の存在を許さない禁制帯を生じさせることができる。

【0003】 このようなフォトニック結晶を実現できれば、半導体レーザの反射ミラーや、光導波路構造を実現することができる。

## 【0004】

10 【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、フォトニック結晶は、従来技術文献 1 「Eli Yablonovitch, "Inhibited Spontaneous Emission in Solid-State Physics and Electronics", Physical Review Letters, Vol. 58, No. 20, pp. 2059-2062, 1987 年 5 月 18 日」において提案されて以来、物理学の分野で話題とはなっているものの、工学的な応用はほとんどなされていない。これは、サブミクロン微細加工が困難であり、加工損傷の影響が大きく効果が議論できないためである。

20 【0005】 本発明の目的は以上の問題点を解決し、従来技術に比較して製造方法が簡単であって、例えば、半導体レーザの反射ミラーや光導波路に用いるためのフォトニック結晶とその製造方法を提供することにある。

## 【0006】

【課題を解決するための手段】 本発明に係る請求項 1 記載のフォトニック結晶は、単結晶基板上に半導体層を形成した後、所定の微細加工法を用いて上記半導体層を互いに所定の間隔をあけて周期的に酸化することにより微細な酸化物マスクを形成し、周期的な酸化物マスクが形成された半導体層上に、所定の結晶成長法を用いて所定の薄膜材料層を形成することにより、酸化物マスクが形成された部位には当該薄膜材料層を形成しない一方、酸化物マスクが形成されていない部位には当該薄膜材料層を形成してなることを特徴とする。

【0007】 また、請求項 2 記載のフォトニック結晶は、請求項 1 記載のフォトニック結晶において、上記単結晶基板は、GaAs 半導体基板、InP 半導体基板、SiC 基板又は Si 基板であることを特徴とする。

【0008】 さらに、請求項 3 記載のフォトニック結晶は、請求項 1 又は 2 記載のフォトニック結晶において、上記微細加工法は、原子間力顕微鏡 (AFM) 微細加工法又は走査型トンネル顕微鏡 (STM) 微細加工法であることを特徴とする。

【0009】 本発明に係る請求項 4 記載のフォトニック結晶の製造方法は、単結晶基板上に半導体層を形成することと、所定の微細加工法を用いて上記半導体層を互いに所定の間隔をあけて周期的に酸化することにより微細な酸化物マスクを形成することと、周期的な酸化物マスクが形成された半導体層上に、所定の結晶成長法を用いて所定の薄膜材料層を形成することにより、酸化物マスクが形成された部位には当該薄膜材料層を形成しない一

方、酸化物マスクが形成されていない部位には当該薄膜材料層を形成することを含むことを特徴とする。

【0010】また、請求項5記載のフォトニック結晶の製造方法は、請求項4記載のフォトニック結晶の製造方法において、上記単結晶基板は、GaAs半導体基板、InP半導体基板、SiC基板又はSi基板であることを特徴とする。

【0011】さらに、請求項6記載のフォトニック結晶の製造方法は、請求項4又は5記載のフォトニック結晶の製造方法において、上記微細加工法は、原子間力顕微鏡（AFM）微細加工法又は走査型トンネル顕微鏡（STM）微細加工法であることを特徴とする。

【0012】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明に係る実施形態について説明する。

【0013】図1は、本発明に係る一実施形態であるフォトニック結晶で生成された光導波路の構造を示す一部破断斜視図であり、図2乃至図4は図1のフォトニック結晶の光導波路の製造工程を示す断面図である。この実施形態のフォトニック結晶で生成された光導波路は、図2乃至図4に示すように、単結晶基板であるGaAs半導体基板10上にMOCVD法により半導体層であるGaAsバッファ層11を形成した後、原子間力顕微鏡（AFM）微細加工法を用いて上記バッファ層11を互いに所定の間隔をあけて周期的に酸化することにより微細な酸化物マスク11aを形成し、周期的な酸化物マスク11aが形成されたバッファ層11上に、MOCVD法を用いて、光導波路を形成するためのクラッド層12、コア層13及びクラッド層14を含む薄膜材料層を形成することにより、酸化物マスク11aが形成された部位には当該薄膜材料層12、13、14を形成しない一方、酸化物マスク11aが形成されていない部位には当該薄膜材料層12、13、14を形成してなることを特徴としている。

【0014】発光源である半導体レーザは、単結晶半導体基板上に、有機金属化学的気相成長法（以下、MOCVD法という。）、分子線成長法（以下、MBE法という。）、又は有機金属分子線成長法（以下、MOMBE法という。）、を用いて、種々の機能を有する単結晶を形成（単結晶成長）させることで作製される。これは基板が単結晶材料であるため、この上に作製される薄膜が基板の結晶性を反映し、一定の条件下で単結晶成長することを利用している。一方、本実施形態では、基板上に他の材料で覆うことで、部分的に成長を抑制し、いわゆる選択成長させることが可能であり、この性質を利用して、微細な単結晶を作製しフォトニック結晶を作製することが可能となる。このフォトニック結晶内では、フォトニックバンドを有する部分にのみ光（光波）が存在（導波）することが可能となる。すなわち、発光素子の作製と同時に作り込んだフォトニックバンド構造により、レ

ーザ素子の反射鏡や光導波路の作製が可能となる。

【0015】

【実施例】実施例として、本実施形態のフォトニック結晶で生成された光導波路の製造方法を図1乃至図5を参照して以下に説明する。ここで、単結晶半導体基板として、おもて表面が面方位（1，0，0）を有するGaAs半導体基板10を用いた。まず、厚さ400μmの半導体基板10のおもて表面を、有機溶媒及び酸性溶液により洗浄した後、図2に示すように、MOCVD法により発光素子作製に必要な結晶成長を行った。ここで、結晶成長法としてはMOCVD法に限らず、MBE法、気相エピタキシャル法（以下、VPE法という。）、液相エピタキシャル法（以下、LPE法という。）なども可能である。

【0016】図2において、まず、半導体基板10上に、良好な結晶成長を行うために、原子間力顕微鏡（AFM）微細加工法（又は、AFMリソグラフィ法ともいう。）で酸化物マスク11aを形成するための半導体層である、厚さ200nmのGaAsにてなるバッファ層11を成長した。

【0017】次いで、フォトニック結晶を形成する部分に、公知の原子間力顕微鏡（AFM）微細加工法を用いて、Ga<sub>x</sub>O<sub>y</sub>やAs<sub>x</sub>O<sub>y</sub>にてなる厚さ8nmの微細な酸化物マスク11aを、互いに隣接する酸化物マスク11aの中心間の距離が、導波路で導波する光の1/2波長となるように形成した。この形成方法は、例えば、従来技術文献2「M. Ishii et al., "Control of Current in 2DEG Channel by Oxide Wire Formed Using AFM", Japan Journal of Physics, Vol.34, pp.1329-1331, Part 1, No.2B, 1995年2月」に開示され、図5に図示されているように、AFMのカンチレバー20の先端を半導体層であるバッファ層11に接触させ、カンチレバー20と半導体基板10間に可変電圧直流電源30から所定の直流電界を印加しながら、カンチレバー20を例えば100の方向で移動させることにより、半導体基板10に流れ込んだ電流と空気中の水蒸気との反応によって、陽極酸化反応を起こし、GaAs酸化物の酸化物マスク11aを形成する方法である。作製した酸化物マスク11aの形状は、例えば、従来技術文献3「Yasufumi Fujiwara et al., "Fabrication of Two-Dimensional InP Photonic Band-Gap Crystals by Reactive Ion Etching with Inductively Coupled Plasma" Japan Journal of Physics, Vol.36, pp.7763-7768, Part1, No.12B, 1997年12月」に開示されている。

【0018】AFM微細加工法を用いた酸化処理においては、原子間力顕微鏡（AFM）のカンチレバー20を化学反応を生じさせる超微細な電極として用い、ナノスケールの微小酸化細線を形成することができる。ここで、AFMのカンチレバーに正の直流バイアス電圧を印加しかつ基板に負の直流バイアス電圧を印加すると、カ

ンチレバー 20 と、大気中の水分が吸着した半導体基板 10 の表面間にはトンネル電流と、水を介したファラデー (Faraday) 電流が流れ、酸化反応が生じる。この反応を利用して探針直下のみの基板を酸化させ微小酸化細線を形成することができる。この微小酸化細線は、電子に対してエネルギーバリアとして働くため、電子デバイスを形成できる。本実施形態では、酸化された部分は母体となる GaAs とは異なる屈折率をもつ材料 (酸化物マスク 11a) に変化するため、酸化物マスク 11a を 2 次元的に周期的に所定の間隔だけ離れて形成することができる。本実施形態において、酸化物マスク 11a の平面の形状は円形であるが、本発明はこれに限らず、六角形状など多角形状であってもよい。

【0019】上記の酸化物マスク 11a の形成後、引き続き MOCVD 法により以下の薄膜材料層 12, 13, 14 の結晶成長を行った。図 4 に示すように、まず、半導体基板 10 に対して、すなわち、半導体基板 10 の厚さ方向にその上側で光を閉じ込めるために、厚さ 500 nm の  $Al_{0.5}Ga_{0.5}As$  にてなるクラッド層 12 を成長した。次いで、導波路のコア部として、厚さ 300 nm の  $AlAs$  にてなるコア層 13 を形成した後、半導体基板 10 の基板表面に対して垂直な方向である図上下方向で、光信号を閉じ込めるために、厚さ 500 nm の  $Al_{0.5}Ga_{0.5}As$  にてなるクラッド層 14 を成長した。ここで、従来技術文献 4「K. Shiralagiet al., "GaAs MESFET Fabrication Without Using Photoresist", IEEE Electron Device Letters, Vol.19, No.2, 1998年2月」に開示されているように、GaAs 酸化物である酸化物マスク 11a 上には結晶成長が行われず、酸化物マスク 11a の無い部分にのみ選択的に結晶成長が行われる。以上の製造工程により、図 4 に示すように、酸化物マスク 11a が形成された部分で空気又は誘電体となる光導波路が形成される。すなわち、光の  $1/2$  波長周期で、2 種類以上の誘電体又は空気及び半導体が交互に繰り返すように形成された 2 次元的な周期構造を有するフォトニック結晶を形成することができる。

【0020】以上説明したように、本実施形態によれば、単結晶基板である GaAs 半導体基板 10 上に MOCVD 法により半導体層である GaAs パッファ層 11 を形成した後、原子間力顕微鏡 (AFM) 微細加工法を用いて上記パッファ層 11 を互いに所定の間隔をあけて周期的に酸化することにより微細な酸化物マスク 11a を形成し、周期的な酸化物マスク 11a が形成されたパッファ層 11 上に、MOCVD 法を用いて、光導波路を形成するためのクラッド層 12、コア層 13 及びクラッド層 14 を含む薄膜材料層を形成することにより、酸化物マスク 11a が形成された部位には当該薄膜材料層 12, 13, 14 を形成しない一方、酸化物マスク 11a が形成されていない部位には当該薄膜材料層 12, 13, 14 を形成してなる。

【0021】従って、従来困難であったサブミクロン構造を、損傷無く作製することが可能となり、高品質なフォトニック結晶を形成することができる。また、光通信分野で用いられる半導体レーザや、半導体光検出器の作製プロセスに原子間力顕微鏡 (AFM) 微細加工法による工程を組み込むことで、同時にフォトニック結晶の形成が可能となるため、半導体レーザの反射ミラーや、光部品が集積された光回路の導波路を同時に作製することが可能となる。これにより、光集積回路の集積化がより一層容易になり、部品コストや組立コストを大幅に軽減することができる。

【0022】<変形例>以上の実施形態では、GaAs にてなる半導体基板 10 を用いているが、本発明はこれに限らず、例えば、発光素子や受光素子など光学用素子作製に用いられる、InP 半導体基板、SiC 基板、Si 基板を用いてもよい。

【0023】以上の実施形態では、原子間力顕微鏡 (AFM) 微細加工法を用いてフォトニック結晶を形成しているが、本発明はこれに限らず、走査型トンネル顕微鏡 (STM) の探針を用いて、走査型トンネル顕微鏡 (STM) 微細加工法を用いてフォトニック結晶を形成してもよい。

#### 【0024】

【発明の効果】以上詳述したように本発明に係るフォトニック結晶とその製造方法によれば、単結晶基板上に半導体層を形成した後、所定の微細加工法を用いて上記半導体層を互いに所定の間隔をあけて周期的に酸化することにより微細な酸化物マスクを形成し、周期的な酸化物マスクが形成された半導体層上に、所定の結晶成長法を用いて所定の薄膜材料層を形成することにより、酸化物マスクが形成された部位には当該薄膜材料層を形成しない一方、酸化物マスクが形成されていない部位には当該薄膜材料層を形成してなる。

【0025】従って、本発明によれば、従来困難であったサブミクロン構造を、損傷無く作製することが可能となり、高品質なフォトニック結晶を形成することができる。また、光通信分野で用いられる半導体レーザや、半導体光検出器の作製プロセスに原子間力顕微鏡 (AFM) 微細加工法等の微細加工法による工程を組み込むことで、同時にフォトニック結晶の形成が可能となるため、半導体レーザの反射ミラーや、光部品が集積された光回路の導波路を同時に作製することが可能となる。これにより、光集積回路の集積化がより一層容易になり、部品コストや組立コストを大幅に軽減することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明に係る一実施形態であるフォトニック結晶で生成された光導波路の構造を示す一部破断斜視図である。

【図 2】 図 1 のフォトニック結晶の光導波路の製造工

程のうちの第1の工程を示す断面図である。

【図3】 図1のフォトニック結晶の光導波路の製造工程のうちの第2の工程を示す断面図である。

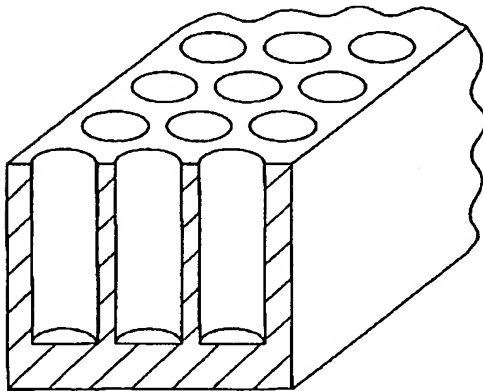
【図4】 図1のフォトニック結晶の光導波路の製造工程のうちの第3の工程を示す断面図である。

【図5】 図3の第2の工程における原子間力顕微鏡（AFM）微細加工法を用いた酸化物マスク11aの製造方法を示す斜視図である。

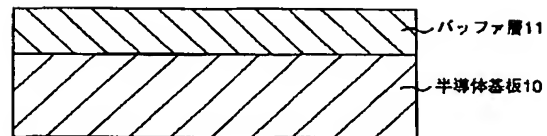
【符号の説明】

10…半導体基板、  
11…バッファ層、  
11a…酸化物マスク、  
12…クラッド層、  
13…コア層、  
14…クラッド層、  
20…カンチレバー、  
30…可変電圧直流電源。

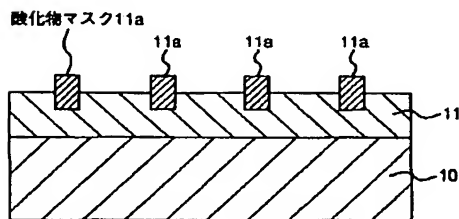
【図1】



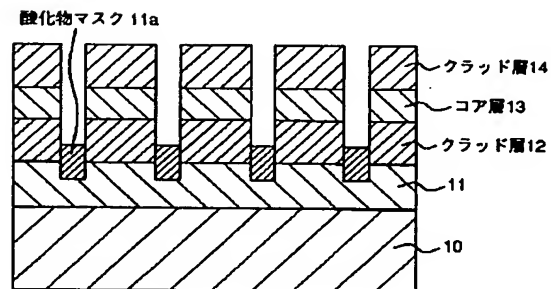
【図2】



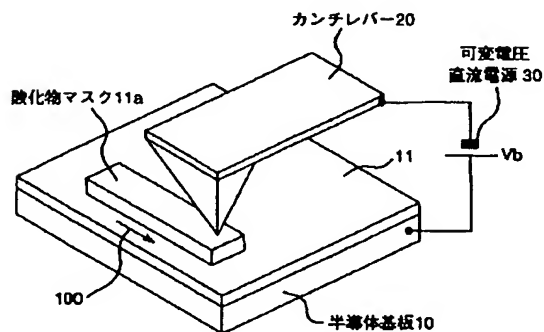
【図3】



【図4】



【図5】



## フロントページの続き

(72)発明者 堂本 千秋  
京都府相楽郡精華町大字乾谷小字三平谷 5  
番地 株式会社エイ・ティ・アール環境適  
応通信研究所内

(72)発明者 和田 一実  
アメリカ合衆国02173マサチューセッツ州  
レクシングトン、ウィンチェスター・ドラ  
イブ26番

(72)発明者 坂田 成司  
京都府相楽郡精華町大字乾谷小字三平谷 5  
番地 株式会社エイ・ティ・アール環境適  
応通信研究所内

(72)発明者 江上 典文  
京都府相楽郡精華町大字乾谷小字三平谷 5  
番地 株式会社エイ・ティ・アール環境適  
応通信研究所内

Fターム(参考) 2H047 PA06 PA24 QA02 TA05  
5F073 CA04 DA05 DA35